

文章编号:1000-582X(2011)03-132-06

灰岩地区人工挖孔桩施工安全综合动态模糊评价

何现启^{1,3}, 张清², 朱自强³, 鲁光银³, 柳群义³, 李建慧³

(1. 湖南省交通规划勘察设计院, 湖南长沙 410008; 2. 湖南省凤大高速公路建设开发有限公司, 湖南凤凰 416200; 3. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南长沙 410083)

摘要:在分析人工挖孔桩施工特点的基础上运用综合评价系统理论,建立了科学、及时、动态的安全评价体系,并运用模糊层次法对施工安全进行了全面评价,安全评价结果为一般,与实际情况吻合,实践证明将模糊层次法用于人工挖孔桩施工安全评价是可行的,且能取得很好的效果。

关键词:人工挖孔桩;动态模糊评价;层次分析;安全评价;风险管理

中图分类号:U447

文献标志码:A

Comprehensive dynamic fuzzy evaluation for construction safety of manual digging pile in limestone area

HE Xian-qi^{1,3}, ZHANG Qing², ZHU Zi-qiang³, LU Guang-yin³, LIU Qun-yi³, LI Jian-hui³

(1. Hunan Provincial Communications Planning Survey, Changsha, Hunan 410008, P. R. China; 2. Hunan Provincial Fengda Highway Construction and Development Co. Ltd., Fenghuang, Hunan 416200, P. R. China; 3. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha, Hunan 410083, P. R. China)

Abstract:Based on the analysis of construction characteristics of manual digging pile in karst region, a scientific, timely and dynamic safety assessment system is the established and fuzzy AHP (analytic hierarchy process) is used to conduct a comprehensive safety assessment. The results are accordant with the actual situation and the construction practice has proved that fuzzy AHP is feasible to evaluate manual digging pile construction safety and good results can be achieved.

Key words: manual digging pile; dynamic fuzzy evaluation; analytic hierarchy process; safety assessment; risk management

人工挖孔桩具有施工速度快,施工组织简单,成本低以及桩基持力层有保证的优点,目前还在许多地区的桩基工程中被采用^[1]。但由于这种方法具有施工难度大,机械化程度低、施工环境差等特点,经常出现孔壁坍塌、孔口落物、窒息、中毒、触电伤亡、坠落孔内、施工人员用麻绳,尼龙绳吊挂、扩底塌方等安全问题。在灰岩地区尤为突出,经常出现垮孔、

涌水、突泥等灾害给施工人员的安全造成严重危害。鉴于这种状况,如何有效地控制、减少施工过程中的伤亡事故,完善、提高施工安全管理水平,保证人工挖孔桩的施工安全,是应该重视的重要环节^[2]。但目前国内主要侧重于对隧道及边坡施工的安全评价,而几乎没有人对人工挖孔桩做过系统的评价;国外对施工安全评价及管理研究较多,主要侧重于隧

收稿日期:2010-10-12

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(05SK3077)

作者简介:何现启(1980-),男,中南大学博士研究生,主要从事工程安全及灾害评价方面的研究。

朱自强(1964-),男,中南大学教授,博士生导师,(E-mail)13507319431@139.com。

道施工及公路运营的安全管理,在桥梁安全方面也只注重于上部结构的安全评价,很少结合地质因素进行综合考虑。笔者在分析目前国内外综合评价方法的基础上选择模糊层次法对灰岩地区人工挖孔桩的施工安全进行详细、系统地评价。

1 人工挖孔桩施工安全评价体系

1.1 评价指标体系的建立

评价指标体系的选择和确定是评价研究内容的基础和关键,直接影响到评价的精度和结果。根据《中华人民共和国安全法》、《公路工程施工安全技术规程》及《爆破安全规程》等法律、法规和规范,结合

人工挖孔桩施工过程中灰岩地区孔壁稳定的不确定性、施工机械化程度较低、施工环境条件恶劣、职工素质低等特殊情况,从系统的角度把人工挖孔桩施工分为安全管理、地质条件、环境条件、爆破作业及爆破器材、设计参数、个人防护、施工用电、施工设备、人员因素等人工挖孔桩施工安全生产条件必须的基本条件、指标^[3-5]。

1.2 人工挖孔桩施工安全评价体系架构

所建立的人工挖孔桩施工安全评价体系为桩基施工中的安全管理、地质条件、环境条件、人员素质等9个一级指标(准则)和38个二级指标,其架构如图1所示。

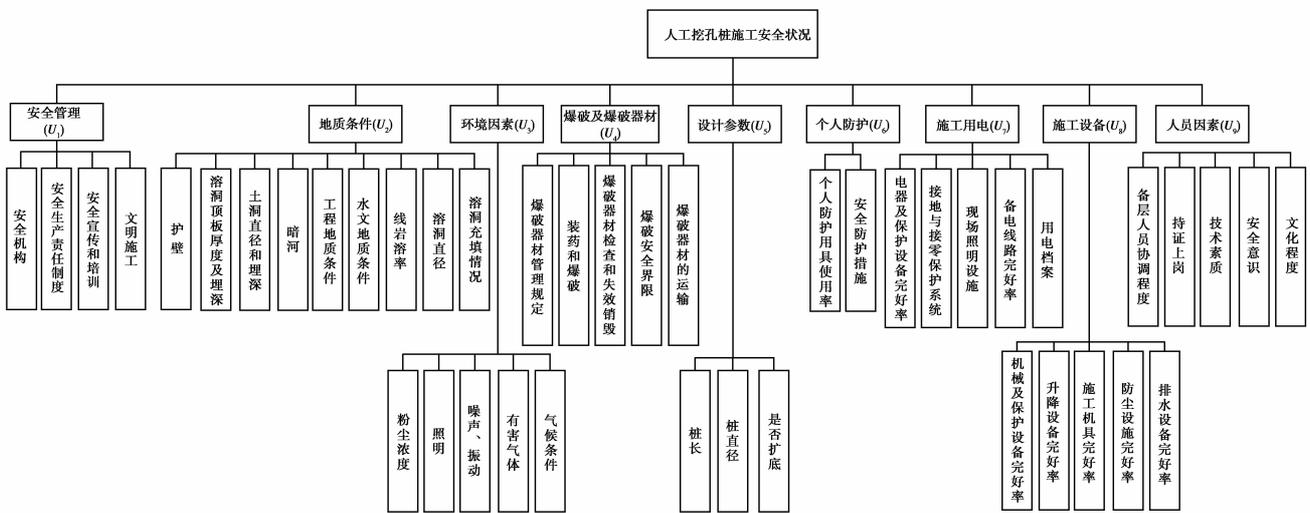


图1 人工挖孔桩施工安全管理评价指标体系

2 桩基施工安全模糊评价模型的建立

模糊综合评价的基本思想是利用模糊线形代换原理和最大隶属度原则,考虑与被评价事物相关的各个因素,对其做出合理的综合评价^[6-7]。当欲评价的系统较复杂或影响因素较多时,仅由一级模型进行评价往往显得比较粗糙,不能很好地反映事物的本质,为使评价结果更加合理,引入了多级模糊综合评价的方法^[8-9]。

2.1 单因素模糊评价

人工挖孔桩施工安全评价涉及的评价因素较多,每个评价因素又可进一步分为许多子因素。因此,在采用模糊评判法时,先要构造等级模糊子集把反映被评价对象的模糊指标进行量化(即确定隶属度),然后利用模糊变换原理对各指标进行综合,其步骤如下^[10]:

1)确定评价对象的因素集。根据所研究的对象,确定影响对象的因素,组成普通因素集。

2)建立评价对象的权重集。评价因素集中的每

个因素在“评价目标”中有不同的地位和作用,即各评价因素在综合评价中占有不同的比重,这个比重称之为权重值。确定权重值的方法很多,可以采用专家咨询法、层次分析法^[11-12]或相对重要程度相关等级计算法等,笔者采用层次分析法。

3)确定评价等级。 $V=(v_1, v_2, \dots, v_j)$ 表示对象评价等级的集合,也成为决策集。其中,元素 $v_i \{I=1, 2, \dots, m\}$ 为各种可能的总评价结果,如好、较好、一般、较差、差等。

4)进行各单因素模糊评价,获得模糊综合评价矩阵。构造了等级模糊子集后,就要逐个对被评价事物从每个因素 u_i 出发进行评价,以确定评价元素集 V_j 的隶属程度 V_{ij} ,将各单因素模糊评价集的隶属度为行组成单因素评价矩阵。每一个评价对象都应建立一个综合评价矩阵 R ,其中 $R_i=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 为第 i 个因素 u_i 的单因素评价,一般将其归一化,使之满足 $\sum_{i=1}^n r_{ij} = 1$ 。

5)进行复合运算可得到综合评价结果。单因素

模糊评价仅仅反映一个因素对评价对象的影响,而未能反映所有因素的综合影响,因此,必须综合考虑所有因素的影响,确定综合评价集。综合评价集 B 可由模糊变换 R 与因素权重集 A 相乘得到,即

$$B = A \circ R, \quad (1)$$

式中,“ \circ ”表示某种合成运算,应根据具体情况进行选择,不能盲目使用。

笔者选用模型 $VM(\cdot, +)$,

$$b_j = \sum_{i=1}^n (\omega_i r_{ij}) \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

式中 $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ 。

该模型不仅考虑了所有因素的影响,而且保留了单因素评判的全部信息。在运算时,并不对 ω_i 和 r_{ij} 施加上限限制,只需对 ω_i 归一化。这是该模型的显著特点,也是其优点。

2.2 多级模糊综合评价

在安全评价中,若评价对象的评价因素较多,则应当采用多级模糊综合评价,先对低层指标进行综合评价,现对评判结果进行高层次的指标评价,具体步骤是^[13]:

1) 将因素集 U 分成几个子集,记为 $U = \{U_1, U_2, U_3, \dots, U_n\}$, R 第 i 个子集 $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, U_{i3}, \dots, U_{im}\}$ 其中 $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

2) 对于每一个 U_i , 按单级模糊综合评价,设各因素集的权重分配为 \bar{A} , U_i 的模糊评价矩阵为 R_i , 则得到:

$$B_i = A_i \circ R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}), \quad (3)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

3) 将 U_i 作为一个元素看待, B_i 作为它的单因素来评判,则:

$$R = U = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ \vdots \\ B_n \end{pmatrix},$$

式中 U 为 (U_1, U_2, \dots, U_n) 的单因素评价矩阵。每个 U_i 作为 U 中的一部分反映了 U 的某种属性。可以按照它们的重要性给出权重分配:

$$\bar{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n).$$

于是可以得到多级的模糊综合评价模型

$$B = \bar{A} \circ R = \bar{A} \circ \begin{pmatrix} A_1 \circ R_1 \\ A_2 \circ R_2 \\ \vdots \\ A_n \circ R_n \end{pmatrix}. \quad (4)$$

2.3 对模糊综合评价结果向量进行分析

得到评判指标 $b_j = (j: 1, 2, \dots, n)$ 之后,便可以

根据以下几种方法确定评判对象的具体结果。

笔者采用加权平均法结果进行评判。取以 b_j 为权数,对各个备择元素 V 进行加权平均的值为评判的结果,即

$$V = \frac{\sum_{j=1}^n b_j v_j}{\sum_{j=1}^n b_j}. \quad (5)$$

如果评判指标 b_j 已经归一化,则

$$V = \sum_{j=1}^n b_j v_j. \quad (6)$$

3 应用实例

以湖南省某灰岩地区高速公路桥梁人挖孔桩施工过程为例,对其进行安全模糊层次综合评价。

3.1 人工挖孔桩施工系统层次结构

由图1人工挖孔桩施工系统安全评价指标体系可得到层次因素集如下:

第1层次因素集

$$U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7, U_8\}.$$

第2层次因素集

$$\begin{aligned} U_1 &= \{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}\}, \\ U_2 &= \{u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}\}, \\ U_3 &= \{u_{31}, u_{32}, u_{33}, u_{34}, u_{35}\}, \\ U_4 &= \{u_{41}, u_{42}, u_{43}, u_{44}, u_{45}\}, \\ U_5 &= \{u_{51}, u_{52}, u_{53}\}, \\ U_6 &= \{u_{61}, u_{62}\}, \\ U_7 &= \{u_{71}, u_{72}, u_{73}, u_{74}, u_{75}\}, \\ U_8 &= \{u_{81}, u_{82}, u_{83}, u_{84}, u_{85}\}, \\ U_9 &= \{u_{91}, u_{92}, u_{93}, u_{94}, u_{95}\}. \end{aligned}$$

3.2 人工挖孔桩施工安全评价集

从安全评价的过程来看,包含了人员素质、安全管理、环境因素、地质条件等几个方面,在编制安全检查表时,有的因素可以用“安全、较安全、一般安全、危险、较危险”来衡量,而有些因素只能用“好、较好、一般、差、较差”等模糊语言描述,因此,笔者采用了“安全(好)、较安全(较好)、一般安全(一般)、较危险(差)、很危险(很差)”5个等级的模糊表述方式。即对于桥梁桩基施工安全评价可取 $V = \{\text{安全, 较安全, 一般安全, 危险, 很危险}\}$ 。

3.3 人工挖孔桩施工安全评价指标结构的权重及因素评价集确定

权重的确定有3种常用的方法:德尔斐法(专家评议法)、层次分析法和相对比较法。权重确定过程的正确与否,直接决定着评价结果的正确性。笔者采用层次分析法来确定权重,准则及指标权重确定结果见表1。因素评价集(隶属度)的确定采用评委

评分法,从桥施工安全专家库中抽取 10 人组成安全专家组,分别对准则层下的 38 个单因素由系统评价集进行评价,得到其评价集,也列于表 2。最后利用模糊最大隶属度原则确定评价结果。

评价指标第 1 层(准则层)指标的层次结构图设置如图 1 所示。设置的评价指标为安全管理、地质

条件、环境条件、爆破及爆破器材、设计参数、个人防护、施工用电、施工设备、人员因素 9 个指标。对这 9 个指标进行评判的标度取值依据层次分析法进行评价指标的重要性评判,可得如表 1 的评判矩阵如下^[14-15]。

表 1 准则层评价指标的判断矩阵

判断矩阵 U	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9
U_1	1	2	1	1/3	1	12	1	1/3	1
U_2	1/2	1	2	1	2	2	1	1	2
U_3	1	1/2	1	1/3	3	1/3	1	1/3	1
U_4	3	1/2	3	1	3	3	4	3	2
U_5	1	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1/3	1/3	1/2
U_6	2	1/2	3	1/3	2	1	3	1/2	2
U_7	1	1	1	1/4	3	1/3	1	1	1/2
U_8	3	1	3	1/3	3	2	1	1	1
U_9	1	1/2	1	1/2	2	1/2	2	1	1

由特征根法得权重向量为:

$$A = (0.086\ 7, 0.132\ 6, 0.073\ 8, 0.218\ 9, 0.049\ 5, 0.126\ 0, 0.082\ 8, 0.139\ 1, 0.090\ 7)$$

判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max} = 9.830\ 5$ 。

一致性检验:

$$\frac{CI}{RI} = \frac{0.103\ 8}{1.46} = 0.072\ 2 < 0.1。$$

表明判断矩阵的结果可以接受,所求的权重值可以使用。

同理可求出其他指标层的权重见表 2。

表 2 人工挖孔桩施工模糊综合评价

准则	权重	指标	权重	模糊关系				
				安全	较安全	一般	较危险	很危险
安全管理 (U_1)	$A_1 0.086\ 7$	安全机构(u_{11})	$A_{11} 0.161\ 6$	0	0.100	0.500	0.40	0
		安全生产责任制度(u_{12})	$A_{12} 0.105\ 9$	0	0	0.600	0.30	0.1
		安全宣传和培训(u_{13})	$A_{13} 0.478\ 9$	0.100	0.300	0.500	0.10	0
		文明施工(u_{14})	$A_{14} 0.253\ 6$	0	0.500	0.250	0.25	0
地质条件 (U_2)	$A_2 0.132\ 6$	工程地质(u_{21})	$A_{21} 0.043\ 5$	0	0.200	0.500	0.30	0
		水文地质(u_{22})	$A_{22} 0.223\ 6$	0	0.300	0.400	0.30	0
		线性岩溶率(u_{23})	$A_{23} 0.078\ 8$	0	0	0.300	0.50	0.2
		护壁(u_{24})	$A_{24} 0.066\ 6$	0	0.400	0.300	0.20	0.1
		溶洞顶板厚度及埋深(u_{25})	$A_{25} 0.042\ 5$	0	0.200	0.500	0.20	0.1
		土洞直径和埋深(u_{26})	$A_{26} 0.118\ 4$	0	0.300	0.300	0.20	0.1
		暗河(u_{27})	$A_{27} 0.119\ 5$	0.300	0.400	0.200	0.10	0
		溶洞直径(u_{28})	$A_{28} 0.096\ 0$	0	0.100	0.600	0.20	0.1
环境因素 (U_3)	$A_3 0.073\ 8$	溶洞充填情况(u_{29})	$A_{29} 0.211\ 1$	0	0.100	0.300	0.30	0.3
		粉尘浓度(u_{31})	$A_{31} 0.164\ 4$	0.500	0.250	0.250	0	0
		照明(u_{32})	$A_{32} 0.085\ 2$	0.750	0	0.250	0	0
		噪声、振动(u_{33})	$A_{33} 0.190\ 3$	0.500	0.333	0.167	0	0
		有害气体(u_{34})	$A_{34} 0.448\ 2$	0.428	0.428	0.144	0	0
气候条件(u_{35})	$A_{35} 0.111\ 9$	0.250	0.250	0.250	0.25	0		

续表 2

准则	权重	指标	权重	模糊关系				
				安全	较安全	一般	较危险	很危险
爆破及爆破器材 (U_4)	A_4 0.218 9	爆破器材管理规定(u_{41})	A_{41} 0.094 4	0.667	0.333	0	0	0
		装药和爆破(u_{42})	A_{42} 0.234 8	0.500	0.500	0	0	0
		爆破器材检查和失效销毁(u_{43})	A_{43} 0.421 5	0.250	0.500	0.250	0	0
		爆破安全界限(u_{44})	A_{44} 0.171 5	0	0.400	0.500	0.10	0
		爆破器材的运输(u_{45})	A_{45} 0.077 8	0.500	0.250	0.250	0	0
设计参数(U_5)	A_5 0.049 5	桩长	A_{51} 0.588 9	0.200	0.400	0.300	0.10	0
		桩径	A_{52} 0.251 9	0.100	0.300	0.400	0.10	0.1
		扩底	A_{53} 0.159 3	0.400	0.500	0.100	0	0
个人防护(U_6)	A_6 0.126 0	个人防护用具使用率	A_{61} 0.614 8	0.200	0.400	0.300	0.10	0
		安全防护措施	A_{62} 0.385 2	0	0.300	0.500	0.10	0.1
施工用电(U_7)	A_7 0.082 8	电器及保护设备完好率	A_{71} 0.315 2	0	0.400	0.300	0.20	0.1
		接地与接零保护系统	A_{72} 0.222 3	0.100	0.300	0.300	0.20	0.1
		现场照明设施	A_{73} 0.111 3	0.100	0.200	0.500	0.20	0
		备线电路完好率	A_{74} 0.253 9	0	0.400	0.300	0.20	0.1
		用电档案	A_{75} 0.097 4	0.300	0.400	0.200	0.10	0
施工设备(U_8)	A_8 0.139 1	机械及保护设备完好率	A_{81} 0.104 0	0	0.200	0.400	0.30	0.1
		升降设备完好率	A_{82} 0.410 3	0	0.400	0.400	0.20	0
		施工设备完好率	A_{83} 0.152 6	0	0.200	0.300	0.40	0.1
		防尘设备完好率	A_{84} 0.077 9	0	0.300	0.300	0.40	0
		排水设备完好率	A_{85} 0.255 1	0	0.100	0.500	0.30	0.1
人员素质(U_9)	A_9 0.090 7	各层人员协调程度	A_{91} 0.314 2	0.200	0.400	0.300	0.10	0
		持证上岗	A_{92} 0.111 8	0.300	0.400	0.300	0	0
		技术素质	A_{93} 0.299 3	0.100	0.500	0.300	0.10	0
		安全意识	A_{94} 0.191 6	0	0.300	0.500	0.20	0
		文化程度	A_{95} 0.083 1	0	0.100	0.400	0.40	0.1

3.4 模糊综合评价

3.4.1 一级模糊综合评判

由表 2 可得到第二层次的模糊评判。按评判方法分别计算出。

1)安全管理。

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.25 & 0.25 & 0 \end{pmatrix},$$

又有 $w_1 = (0.161 6, 0.105 9, 0.478 9, 0.253 6)$, 则:

$$A_1 = w_1 \circ R_1 = (0.047 9, 0.286 6, 0.447 2, 0.207 7, 0.010 6)。$$

同理得出:

2)地质因素。

$$A_2 = (0.035 9, 0.225 0, 0.356 4, 0.259 5, 0.111 4)。$$

3)环境因素。

$$A_3 = (0.461 1, 0.324 3, 0.186 7, 0.02 8, 0)。$$

4)爆破及爆破器材。

$$A_4 = (0.326, 0.447 6, 0.210 6, 0.017 2, 0)。$$

5)设计参数。

$$A_5 = (0.206 7, 0.390 8, 0.293 4, 0.084 1, 0.025 2)。$$

6)个人防护。

$$A_6 = (0.123, 0.361 5, 0.377, 0.10, 0.038 5)。$$

7)施工用电。

$$A_7 = (0.062 6, 0.471 1, 0.505 1, 0.228 8, 0.117 7)。$$

8)施工设备。

$$A_8 = (0, 0.264 3, 0.402 4, 0.282 0, 0.051 2)。$$

9)人员素质。

$$A_9 = (0.126 3, 0.385 8, 0.346 6, 0.132 9, 0.008 3)。$$

3.4.2 二级模糊综合评价

由前面计算得到准则层的权重向量为:

$$A = (0.086 7, 0.132 6, 0.073 8, 0.218 9, 0.049 5, 0.126 0, 0.082 8, 0.139 1, 0.090 7)。$$

又有:

$$R = \begin{pmatrix} 0.0479 & 0.2866 & 0.4472 & 0.2077 & 0.0106 \\ 0.0359 & 0.2250 & 0.3564 & 0.2595 & 0.1114 \\ 0.4611 & 0.3243 & 0.1867 & 0.028 & 0 \\ 0.3260 & 0.4476 & 0.2106 & 0.0172 & 0 \\ 0.2067 & 0.3908 & 0.2934 & 0.0841 & 0.0252 \\ 0.1230 & 0.3615 & 0.3770 & 0.10 & 0.0385 \\ 0.0626 & 0.4711 & 0.5051 & 0.2288 & 0.1177 \\ 0 & 0.2643 & 0.4024 & 0.2820 & 0.0512 \\ 0.1263 & 0.3858 & 0.3466 & 0.1329 & 0.0083 \end{pmatrix},$$

$$B = A \cdot R = (0.1567, 0.3523, 0.3372, 0.1452, 0.0394).$$

由 $V = \{\text{安全, 较安全, 一般, 危险, 很危险}\} = \{85, 75, 65, 55, 45\}$, $U = B \cdot V = (0.1567, 0.3523, 0.3372, 0.1452, 0.0394) \cdot (85, 75, 65, 55, 45) = 71.4135$.

由结果知,该工程建筑安全管理状况一般,安全保障措施有许多不足之处需进一步调查和改善。

4 结 语

应用模糊综合评价对影响灰岩地区人工挖孔桩施工安全的各因素进行多层次综合评价,了解了各个因素的安全状况,掌握了施工过程中整体安全状况。所建立的安全评价指标体系反映了人工挖孔桩施工安全状况所需的基本因素,应用专家评分法确定的施工过程各单因素及指标确定的权重,评价结果为一般,正确地反映桩基施工的实际状况。在施工过程中部分桩基出现过垮孔、涌泥现象,还有部分桩基不宜采用人工挖孔桩施工。安全评价结果正确地指导了施工,但由于地质条件较复杂,施工过程中仍存在一定的安全隐患,需进一步加强安全保障措施。在施工过程中针对出现的新情况不断地完善评价指标体系。

参考文献:

- [1] 洪奇明. 浅谈人工挖孔桩施工技术及安全管理[J]. 福建建筑, 2009, 135(9): 147-148.
HONG QI-MING. Construction technology and safety management of hand-dug pile[J]. Fujian Architecture & Construction, 2009, 135(9): 147-148.
- [2] 张传燕. 桥梁施工安全管理及评价系统研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [3] 张健, 隋杰明, 苑宏利, 等. 工程施工现场安全评价方法的研究与应用[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2009, 25(2): 308-311.
ZHANG JIAN, SUI JIE-MING, YUAN HONG-LI, et al. Research and application of construction security assessment method on an actual project[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2009, 25(2): 308-311.
- [4] 刘辉, 孙世梅, 张喜明. 公路隧道施工安全模糊评价方法研究及应用[J]. 现代隧道技术, 2008, 45(1): 5-9.
LIU HUI, SUN SHI-MEI, ZHANG XI-MING. Study

and application of safety fuzzy assessment model for highway tunnel construction[J]. Modern Tunnelling Technology, 2008, 45(1): 5-9.

- [5] 赵松旭, 钱才, 田元福. 多层次分析法和模糊评价在桥梁多方案评价中的应用[J]. 2007, 17(1): 75-78.
ZHAO SONG-XU, QIAN CAI, TIAN YUAN-FU. Application of AHP and fuzzy evaluation in the multi-scheme evaluation of bridge[J]. 2007, 17(1): 75-78.
- [6] 李光晓, 李孜军, 王宁. 施工隧道安全性的模糊综合评价[J]. 工业安全与环保, 2008, 34(6): 60-62.
LI GUANG-XIAO, LI ZI-JUN, WANG NING. Fuzzy-based appraisal of constructed tunnel safety [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2008, 34(6): 60-62.
- [7] SASMAL S, RAMANJANEYULU K. Condition evaluation of existing reinforced concrete bridges using fuzzy based analytic hierarchy approach [J]. Expert Systems with Applications, 2008, 35(3): 1430-1443.
- [8] PAN NANG-FEI. Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method [J]. Automation in Construction, 2008, 17(8): 958-965.
- [9] ZHANG HONG-QING, FAN XIAO-YIN. A new method for evaluating the risk of engineering project-DHGF algorithm[C] // 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2008, Oct. 12-14, 2008, Dalian, China. [S.l.]: IEEE, 2008.
- [10] 郝秀清, 任建国, 樊晶光. 我国安全评价机构现状与分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 3(2): 78-82.
HAO XIU-QING, REN JIAN-GUO, FAN JIN-GUANG. Analysis of current situation of safety assessment institution in China[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2007, 3(2): 78-82.
- [11] 成连华, 李树刚, 林海飞. 基于过程方法的企业安全评价指标体系构建方法[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(1): 66-69.
CHENG LIAN-HUA, LI SHU-GANG, LIN HAI-FEI. Establishing method of index system of safety assessment in enterprises based on process method[J]. China Safety Science Journal(CSSJ), 2007, 17(1): 66-69.
- [12] 李光晓, 李孜军, 王宁. 施工隧道安全性的模糊综合评价[J]. 2008, 34(6): 60-62.
LI GUAN-XIAO, LI ZI-JUN, WANG NING. Fuzzy-based appraisal of constructed tunnel safety [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2008, 34(6): 60-62.
- [13] 华中生, 吴云燕, 徐晓燕. 一种 AHP 判断矩阵一致性调整的新方法[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(1): 38-40.
HUA ZHONG-SHENG, WU YUN-YAN, XU XIAO-YAN. A New Method of Consistency Regulation for the AHP Judgment Matrix[J]. Systems Engineering and Electronics, 2003, 25(1): 38-40.

(编辑 郑 洁)